

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-216424

(43)Date of publication of application : 04.08.2000

(51)Int.CI.

H01L 31/10  
G02F 1/015

(21)Application number : 11-014942

(71)Applicant : NEC CORP

(22)Date of filing : 22.01.1999

(72)Inventor : MAKITA KIKUO

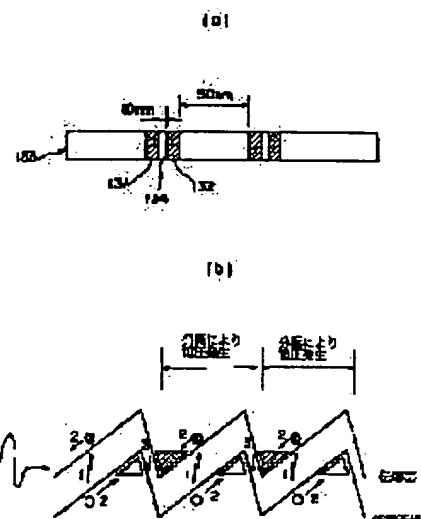
—

## (54) LIGHT-VOLTAGE CONVERSION TYPE SEMICONDUCTOR PHOTO DETECTING ELEMENT, OPTICAL SIGNAL PROCESSING DEVICE AND OPTICAL INTEGRATED ELEMENT

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To realize a semiconductor photo detecting element of high speed and efficiency which needs no external power source.

**SOLUTION:** A doping dipole structure constituted of an N-type high density delta doped layer 132 and a P-type high density delta doped layer 131 which are adjacent to each other at most 20 nm is periodically formed in an undoped layer 133 which is to be irradiated with a light, thereby turning the band structure of a light absorbing layer into a sawtooth type. When the undoped layer 133 is irradiated with a light, a photo carrier is drifted by the sawtooth type band structure, collected in the doping dipole structure region, and a large electromotive force is generated by direct recombination and indirect recombination. As the result, high response and high efficiency can be made compatible with each other, so that a semiconductor photo detecting element which generates a signal voltage in the element and needs no external power source can be provided. An optical integrated element in which a semiconductor photo detecting element is arranged on the same substrate, and an optical communication and measuring device mounting the elements can be obtained.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 25.03.1999

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3365329

[Date of registration] 01.11.2002

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-216424

(P2000-216424A)

(43) 公開日 平成12年8月4日 (2000.8.4)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

H 01 L 31/10  
G 02 F 1/015

識別記号

5 0 5

F I

H 01 L 31/10  
G 02 F 1/015

テマコト<sup>8</sup> (参考)

A 2 H 0 7 9  
5 0 5 5 F 0 4 9

審査請求 有 請求項の数 6 OL (全 8 頁)

(21) 出願番号

特願平11-14942

(22) 出願日

平成11年1月22日 (1999.1.22)

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 牧田 紀久夫

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(74) 代理人 100086759

弁理士 渡辺 喜平

F ターム (参考) 2H079 AA02 AA13 BA01 CA04 DA16  
EA01 EA07 HA11 KA19  
5F049 MA02 MB07 NA01 NA03 NB01  
NB07 QA03 QA07 QA08 RA10  
SE05 SS04 WA01

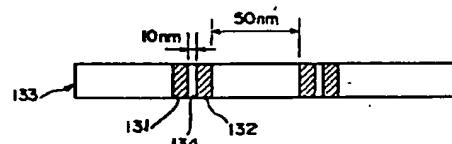
(54) 【発明の名称】 光-電圧変換型半導体受光素子、光信号処理装置および光集積素子

(57) 【要約】 (修正有)

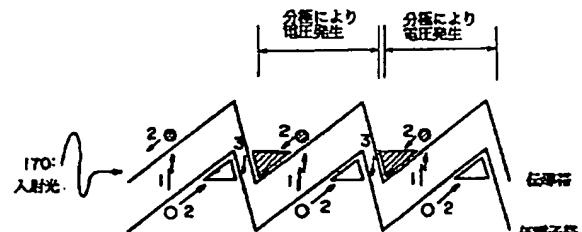
【課題】 高速かつ高効率で外部電源の必要でない半導体受光素子の実現が望まれていた。

【解決手段】 少なくとも 20 nm 以下に近接した n 型高濃度デルタドープ層と p 型高濃度デルタドープ層となるドーピングダイポール構造を、光照射を受けるアンドープ層に周期的に形成することにより光吸収層のバンド構造を鋸歯状にする。従って、アンドープ層に光を照射すると光キャリアが鋸歯状のバンド構造によりドリフトして、上記ドーピングダイポール構造領域に集まつて直接再結合および間接再結合されることにより大きな起電力を生じる。この結果、高速応答かつ高効率な特性を両立でき、信号電圧を素子内で発生させて外部電源の必要でない半導体受光素子を提供することができる。さらに、半導体受光素子を同一基板上に配した光集積素子、さらにはそれらを搭載した光通信・計測装置を提供することができる。

(a)



(b)



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】少なくとも20nm以下に近接したn型高濃度デルタドープ層とp型高濃度デルタドープ層とかなるドーピングダイポール構造を、光照射を受けるアンドープ層に周期的に形成することにより鋸歯状のバンド構造を呈する光吸収手段と、

上記アンドープ層に光を照射することにより生じる光キャリアが鋸歯状のバンド構造によりドリフトして、上記ドーピングダイポール構造領域に集まって直接再結合および間接再結合されることにより生じる起電力を外部に出力する電力出力手段とを具備することを特徴とする光一電圧変換型半導体受光素子。

【請求項2】上記請求項1に記載の光一電圧変換型半導体受光素子において、

半導体基板上にバッファ層である第一の半導体層、上記光吸収手段からなる第二の半導体層、キャップ層である第三の半導体層を有し、さらに、上記電力出力手段として半導体基板と第三の半導体層上部とにコンタクト電極を構成し、半導体層面に信号光を垂直に入射して吸収させることを特徴とする面入射型の光一電圧変換型半導体受光素子。

【請求項3】上記請求項1に記載の光一電圧変換型半導体受光素子において、

半導体基板上にクラッド層である第一の半導体層、上記光吸収手段からなる第二の半導体層、クラッド層である第三の半導体層を有し、さらに、上記電力出力手段として半導体基板と第三の半導体層上部とにコンタクト電極を構成し、半導体層面に対し信号光を水平に入射して導波、吸収させることを特徴とする導波路型の光一電圧変換型半導体受光素子。

【請求項4】光信号を電圧に変換して出力する素子として上記請求項1～請求項3のいずれかに記載の光一電圧変換型半導体受光素子を使用して、光計測、光通信等を行うことを特徴とする光信号処理装置。

【請求項5】半導体基板内に形成する二個以上の半導体光・電子素子の一つとして、上記請求項1～請求項3のいずれかに記載の光一電圧変換型半導体受光素子を搭載することを特徴とする光集積素子。

【請求項6】光信号を電圧に変換して出力する素子として上記請求項5に記載の光集積素子を使用して、光計測、光通信等を行うことを特徴とする光信号処理装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光一電圧変換型半導体受光素子、光信号処理装置および光集積素子に関し、特に高速信号光を効率よく電圧信号に変換することができる光一電圧変換型半導体受光素子、それを搭載した光信号処理装置および光集積素子に関する。

## 【0002】

【従来の技術】光通信・計測技術において高速大容量化

は必須であり、特に光信号を電気信号に変換する受信機においては、半導体を用いた受光素子が従来より開発されている。ここで光通信・計測技術では、一般には信号光を信号電流に変換するタイプの受光素子が適用されており、PINフォトダイオード（例えば、1984年エレクトロニクス・レターズ（Electron. Lett.）のVol. 20, No. 16, 第654頁参照）さらには、内部利得効果を有するアバランシェ・フォトダイオード（APD）（例えば、1984年エレクトロニクス・レターズのVol. 20, No. 16, 第653頁参照）等がある。

【0003】これらの素子では、空乏化された光吸収層内で光吸収により光キャリアが発生し、外部電界によりドリフト走行させ、電極より電流信号として取り出すことにより信号認識が可能となる。また他に、空乏層内で発生した光キャリアによる素子の伝導率変化を利用した光伝導型素子（例えば、1984年アプライド・フィジックス・レターズ（Appl. Phys. Lett.）のVol. 44, No. 12, 第1142頁参照）がある。

【0004】一方、特開平9-213985号公報に開示された技術においては、少なくとも20nm以下に近接したn型高濃度デルタドープ層とp型高濃度デルタドープ層とかなるドーピングダイポール構造を、光照射を受けるアンドープ層に周期的に形成することが開示されている。この特開平9-213985号公報に開示された技術では、光吸収層に鋸歯状のバンド構造が形成されることにより、高速かつ高感度な光伝導素子が実現できることとされている。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】上述した従来の半導体受光素子においては、特に高速応答と効率に注目すると以下のようないくつかの課題があった。すなわち、従来のPINフォトダイオード及びAPDにおいて高速応答を支配する要因としては、素子自体が有する容量及び抵抗によるCR回路時定数制限および、空乏化された光吸収層内を光キャリアが走行することにより生じる走行時間制限がある。

【0006】ここで、前者に対してはpn接合径の低減による容量低減、電極最適化によるコンタクト抵抗低減等の改善により対応が可能である。後者に対しては、高速化のためには光吸収層を薄膜化し走行時間を短縮することが原則となる。しかしながら、この場合光一電流変換効率（量子効率）は光吸収層厚に依存し、薄膜になるとしたがい低下する。このため、高速応答性と高い量子効率を両立することは、難しいとされている。

【0007】また、上記光伝導型素子においても、発生キャリアを高速に電極に引き抜くことが高速化の基本となる。そのため、高移動度キャリアを有する高純度層を適用し光キャリアの引き抜きを早くする。光吸収層と

して高キャリア濃度層あるいは多くの再結合センターを導入し、光キャリアの寿命を引き抜き時間より短縮することにより実効的に高速化する等が提案されている。

【0008】特に後者の場合、キャリアの走行時間によらないため、前者よりさらに高速化が期待でき、例えば特開昭第63-96969号公報等に従来技術が例示されている。ところが、後者の場合は結晶品質を犠牲にしてキャリア寿命低減を図っており、このために光吸収-光キャリア発生の過程に影響を与え、効率劣化等の問題を結果的に生じる。

【0009】さらに、上記特開平9-213985号公報に開示された技術においては、この素子は光伝導素子とされている。従って、この素子により電圧信号を取り出すには外部電源が必要であった。

【0010】本発明は上記課題にかんがみてなされたものであり、技術的課題の一つは、高速応答かつ高効率な特性を両立することにより、信号電圧を素子内で発生させて外部電源の必要でない半導体受光素子を提供することにある。さらに、他の技術的課題として半導体受光素子を同一基板上に配した光集積素子、さらにはそれらを搭載した光通信・計測装置を提供することである。

#### 【0011】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、請求項1にかかる発明は、少なくとも20nm以下に近接したn型高濃度デルタドープ層とp型高濃度デルタドープ層とからなるドーピングダイポール構造を、光照射を受けるアンドープ層に周期的に形成することにより鋸歯状のバンド構造を呈する光吸収手段と、上記アンドープ層に光を照射することにより生じる光キャリアが鋸歯状のバンド構造によりドリフトして、上記ドーピングダイポール構造領域に集まって直接再結合および間接再結合されることにより生じる起電力を外部に出力する電力出力手段とを具備する構成としてある。

【0012】すなわち、光吸収手段は、少なくとも20nm以下に近接したn型高濃度デルタドープ層とp型高濃度デルタドープ層とからなるドーピングダイポール構造を、光照射を受けるアンドープ層に周期的に形成することにより鋸歯状のバンド構造を呈するように構成されている。また、電力出力手段は、アンドープ層に光を照射することにより生じる光キャリアが鋸歯状のバンド構造によりドリフトして、上記ドーピングダイポール構造領域に集まって直接再結合および間接再結合されることにより生じる起電力を外部に出力する。

【0013】光吸収手段においてはアンドープ層に少なくとも20nm以下に近接したn型高濃度デルタドープ層とp型高濃度デルタドープ層とからなるドーピングダイポール構造が周期的に形成されている。つまり、光照射を受ける為のある程度の長さを有したアンドープ層、n型高濃度デルタドープ層、20nm以下のアンドープ層、p型高濃度デルタドープ層という順番で層をなす。

【0014】ここで、ある層にn型領域とp型領域とを形成すると、層内でフェルミレベルが同一になるよう両層のエネルギー-bandが決定される。従って、両層の電子の、あるエネルギーに対する電子の分布確率が同一となるのでp型領域の伝導帯の底のエネルギー値よりn型領域の伝導帯の底のエネルギー値の方が低くなる。荷電子帯の上端も同様である。

【0015】このため、上記のようにアンドープ層にn型高濃度デルタドープ層とp型高濃度デルタドープ層とを周期的に形成すると、光照射を受けるためのアンドープ層ではp型高濃度デルタドープ層からn型高濃度デルタドープ層に向かって伝導帯の底及び荷電子帯が徐々に低くなる。さらに、このn型高濃度デルタドープ層と次のp型高濃度デルタドープ層とは非常に近接しているので、n型高濃度デルタドープ層からp型高濃度デルタドープ層に向けて伝導帯の底及び荷電子帯の上端のエネルギー値が急激に高くなり、このバンド構造が周期的に表されることにより鋸歯状のバンド構造が形成される。

【0016】ここで、光照射を受けるためのアンドープ層に光を照射することは、すなわち、p型高濃度デルタドープ層からn型高濃度デルタドープ層に向かって伝導帯の底及び荷電子帯が徐々に低くなるバンド構造を有する位置に光を照射することである。従って、光照射によると、この領域で電子が励起されて伝導帯の底付近に電子を生じ、荷電子帯の上端付近でホールを生じて光キャリアが発生する。この発生した光キャリアは、鋸歯状のバンド構造に基づく分極電界によってドリフトして、電子はn型高濃度デルタドープ層方向へ、ホールはp型高濃度デルタドープ層方向へ移動する。

【0017】すなわち、n型高濃度デルタドープ層とp型高濃度デルタドープ層とは20nm以下に近接しているので、移動してきた電子とホールは空間的に非常に近接することになって、これらの光キャリアは直接再結合による消滅が促される。また、n型高濃度デルタドープ層とp型高濃度デルタドープ層とは高濃度デルタドープ層であるので再結合中心を多く有しており、この再結合中心を介して間接再結合による消滅が促される。つまり、これらの過程を通じて光キャリアは急速に消滅される。

【0018】このように、光キャリアの発生領域と消滅領域とは空間的に別領域であり、光吸収層内で効率的に光キャリア発生及び消滅が行われる。また、素子応答は、高々数十nmのアンドープ層域のドリフト走行時間とサブpsオーダーの再結合による消滅で決定されるため、超高速応答が可能となる。

【0019】また、一つのドーピングダイポール領域での発生電圧は、基本的には上述のようにpn接合での光起電効果を考えればよく、最大でもバンドキャップ程度の電圧である。しかしながら、本発明ではドーピングダイポールが他周期構造となっているので、電圧発生源が

直列に連なっているのと同様の効果を奏する。従って、ドーピングダイポール構造及び繰り返し周期数の最適化等により、光キャリアを効率よくドーピングダイポール領域に集めることができ、バンドギャップ以上の高い信号電圧（～数V程度）の発生が原理的に可能となる。従って、信号を取り出すための外部電源を繋ぐことなく、光信号を電圧信号に変換することができる。

【0020】さらに、高速性はあくまでも1周期内での光キャリアの発生・消滅過程に依存するので、応答劣化を伴うことはない。これにより、従来の受光素子において課題であった効率と高速性のトレードオフを回避した超高速・高効率の光一電圧変換素子としての動作が可能となる。

【0021】また、このように光吸収手段と電力出力手段とにより実際のデバイスとして面入射型の光一電圧変換型半導体受光素子を構成する具体例として、請求項2にかかる発明は、請求項1に記載の光一電圧変換型半導体受光素子において、半導体基板上にバッファ層である第一の半導体層、上記光吸収手段からなる第二の半導体層、キャップ層である第三の半導体層を有し、さらに、上記電力出力手段として半導体基板と第三の半導体層上部とにコンタクト電極を構成し、半導体層面に信号光を垂直に入射して吸収させる構成としてある。

【0022】すなわち、半導体基板上にバッファ層を積層して、その上に光吸収手段からなる光吸収層を積層して、さらにキャップ層を積層することにより半導体基板上に光吸収層が形成される。ここで、この積層の上下にコンタクト電極を設けることにより、デバイスとしての光一電圧変換型半導体受光素子が構成される。そして、この素子はキャップ層に垂直に信号光を入射させ、吸収されることにより面入射型の光一電圧変換型半導体受光素子として作用する。

【0023】さらに、実際のデバイスとして導波路型の光一電圧変換型半導体受光素子を構成する具体例として、請求項3にかかる発明は、請求項1に記載の光一電圧変換型半導体受光素子において、半導体基板上にクラッド層である第一の半導体層、上記光吸収手段からなる第二の半導体層、クラッド層である第三の半導体層を有し、さらに、上記電力出力手段として半導体基板と第三の半導体層上部とにコンタクト電極を構成し、半導体層面に対し信号光を水平に入射して導波、吸収させる構成としてある。

【0024】すなわち、半導体基板上にクラッド層を積層して、その上に光吸収手段からなる光吸収層を積層して、さらにクラッド層を積層することにより半導体基板上に光吸収層が形成される。そして、この積層の上下にコンタクト電極を設けることにより、デバイスとしての光一電圧変換型半導体受光素子が構成される。ここで、光吸収層はクラッド層に挟まれているので、光吸収層が導波管として作用し、積層構造に信号光を水平に入射し

て導波、吸収させることにより面入射型の光一電圧変換型半導体受光素子として作用する。

【0025】このような光一電圧変換型半導体受光素子は大きな動作電圧を、外部電源によらずに出力できるので、様々な用途があり、その好適な例として請求項4にかかる発明は、光信号を電圧に変換して出力する素子として請求項1～請求項3のいずれかに記載の光一電圧変換型半導体受光素子を使用して、光計測、光通信等を行う構成としてある。

【0026】すなわち、例えば、光通信において受信光信号を電気信号に変換する機構に本発明による光一電圧変換型半導体受光素子を使用したとき、この光一電圧変換型半導体受光素子は大きい電圧を出力する。従って、外部電源やアンプ等を使用する必要がなく、光信号処理装置を簡易な構成とすることができます。

【0027】さらに、この光一電圧変換型半導体受光素子を便利なデバイスとして構成するために、請求項5にかかる発明は、半導体基板内に形成する二個以上の半導体光・電子素子の一つとして、上記請求項1～請求項3のいずれかに記載の光一電圧変換型半導体受光素子を搭載する構成としてある。

【0028】すなわち、光クロック抽出などの機能を行うための集積回路に、所定の機能を行わせるための半導体光・電子素子を集積し、光信号受光素子として光一電圧変換型半導体受光素子も集積する。この結果、所定の機能が一つのチップにより実現される。

【0029】さらに、このような光集積素子を使用して好適な例として、請求項6にかかる発明は、光信号を電圧に変換して出力する素子として上記請求項5に記載の光集積素子を使用して、光計測、光通信等を行う構成としてある。

【0030】すなわち、光計測、光通信等を行う光信号処理装置に、光信号一電圧信号変換を含む一つの機能が集約されたチップを使用すると、より簡単にこの光信号処理装置が構成される。

【0031】

【発明の実施の形態】以下、図面にもとづいて本発明の実施形態を説明する。図1は、本発明の第一の実施形態にかかる光一電圧変換型半導体受光素子の断面を示している。図において、光一電圧変換型半導体受光素子はn+−InP基板110上に積層される。すなわち、n+−InP基板110上にはn+−InPバッファ層120が100nm積層されており、その上にInGaAs光吸収層130が800nm積層されている。

【0032】このInGaAs光吸収層130の上には、さらにn+−InPキャップ層140が10nm積層されており、このn+−InPキャップ層140の上部とn+−InP基板110の下部とにそれぞれn型A<sub>u</sub>G<sub>e</sub>N<sub>i</sub>電極150, 160が設けられている。そして、このn型A<sub>u</sub>G<sub>e</sub>N<sub>i</sub>電極150, 160を介して

InGaAs光吸收層130にて発生した電気信号を取り出せるようになっており、この意味において、n型AuGeNi電極150, 160が上記電力出力手段を構成する。

【0033】図2(a)は、InGaAs光吸收層130の拡大図、図2(b)はそのバンド構造を示している。図2(a)において、一周期は50nmのアンドープ層133, 10nmのp型高濃度デルタドープ層131, 10nmのアンドープスペーサ134および10nmのn型高濃度デルタドープ層132とからなっている。従って、一周期は80nmであり、これが十周期繰り返されてInGaAs光吸收層130が800nmとなっている。

【0034】ここで、p型高濃度デルタドープ層131には、ホールが1立方センチメートル当たり $1.0 \times 10^{19}$ 個の密度になるようドーピングされており、n型高濃度デルタドープ層132には、電子が1立方センチメートル当たり $1.0 \times 10^{19}$ 個の密度になるようドーピングされている。

【0035】また、このようにInGaAs光吸收層130は、p型高濃度デルタドープ層131とn型高濃度デルタドープ層132とが形成されており、同一層内ではフェルミレベルが同一になるよう両層のエネルギー・バンドが決定されるので、p型高濃度デルタドープ層の伝導帯の底のエネルギー値よりn型高濃度デルタドープ層の伝導帯の底のエネルギー値の方が低くなる。荷電子帯の上端も同様である。

【0036】このため、図2(b)に示すように、p型高濃度デルタドープ層131からn型高濃度デルタドープ層132に向けて、伝導帯の底のエネルギー値および荷電子帯の上端のエネルギー値が小さくなしていくバンド構造を取る。ここで、アンドープ層133は50nm, アンドープスペーサ134は10nmであるので、伝導帯の底のエネルギー値および荷電子帯の上端のエネルギー値の変化は、p型高濃度デルタドープ層からアンドープ層方向には緩やかに変化して、アンドープスペーサ方向には急激に変化する。従って、バンド構造は図2(b)に示すように、鋸歯状となる。この意味において、InGaAs光吸收層130が上記光吸收手段を構成する。

【0037】上記のような構成において、図1に示すように積層面に垂直に信号光17を照射すると、アンドープ層133にて図2(b)の1に示す過程により電子が励起される。この結果、伝導帯の底付近に電子を生じ、荷電子帯の上端付近でホールを生じて光キャリアが発生する。そして、発生した光キャリアは鋸歯状のバンド構造に基づく分極電界によってドリフトして、図2(b)の2で示すように電子はn型高濃度デルタドープ層方向へ、ホールはp型高濃度デルタドープ層方向へ移動する。

【0038】ここで、n型高濃度デルタドープ層とp型高濃度デルタドープ層とはアンドープスペーサ134の距離である10nmしか離れていないので、両デルタドープ層に移動してきた電子とホールとは非常に近接する。従って、これらの光キャリアは直接再結合により容易に消滅する。また、n型高濃度デルタドープ層とp型高濃度デルタドープ層とは高濃度デルタドープ層であるので再結合中心を多く有しており、この再結合中心を介して間接再結合により容易に消滅する。従って、これらの直接再結合および間接再結合過程を通じて光キャリアは急速に消滅する。

【0039】このように、光キャリアの発生領域と消滅領域とは空間的に別領域であるので、InGaAs光吸收層内では非常に効率的に光キャリア発生及び消滅が行われる。また、素子応答は、たかだか数十nmのアンドープ層域のドリフト走行時間とサブμsオーダーの再結合による消滅で決定されるため、超高速応答が可能となる。

【0040】また、一周期での発生電圧は、基本的には上述のようにpn接合での光起電効果であり、最大でもバンドギャップ程度の電圧である。しかしながら、この層構造が十周期繰り返すことにより、電圧発生源が直列に連なっているのと同様の効果を奏する。従って、バンドギャップ以上の高い信号電圧の発生が可能となり、信号を取り出すための外部電源を繋ぐことなく、光信号を電圧信号に変換することができる。

【0041】図3は図1の実施形態において、信号光17として波長1.55μmの信号光を照射したときに得られる出力信号電圧を示しており、縦軸はログスケールによる出力信号電圧(mV)であり、横軸はログスケールによる入力信号のパワー(mV)である。図において、信号光の入力パワーを増加させると出力信号も増加し、入力信号1mWにおいて3V程度の大きな出力信号が発生している。

【0042】図4は、本発明の第二の実施形態にかかる光-電圧変換型半導体受光素子の斜視図を示している。図において、光-電圧変換型半導体受光素子はn+-InP基板210上に積層される。すなわち、n+-InP基板210上にはn+-InPクラッド層220が100nm積層されており、その上にInGaAs光導波・吸収層230が800nm積層されている。

【0043】このInGaAs光導波・吸収層230の上には、さらにn+-InPクラッド層240が10nm積層されており、このn+-InPクラッド層240の上部とn+-InP基板210の下部とにそれぞれn型AuGeNi電極250, 260が設けられている。そして、このn型AuGeNi電極250, 260を介してInGaAs光導波・吸収層230にて発生した電気信号を取り出せるようになっている。

【0044】上記構成における、InGaAs光導波・

吸収層230は、上記第一の実施例におけるInGaAs光吸収層130と同様の構造となっており、このInGaAs光導波・吸収層230はn+InPクラッド層220、240に挟まれている。従って、信号光270を半導体層面に対して水平方向に入射したときには、InGaAs光導波・吸収層230は導波管として働くので、信号光270が吸収されつつ伝導する。このとき上述の第一の実施例と同様の機構により光信号が電圧に変換されて、n型AuGeNi電極250および260から出力される。

【0045】上述の光-電圧変換型半導体受光素子は、外部電源なしで光信号を電圧信号に変換できるので様々な用途が考えられ、特に好適な例として超高速光信号処理において重要な光クロック抽出技術に関するものを図5に基づいて説明する。通常40Gb/s以上の超高速信号では、送信側及び受信側で時分割多重処理を行う場合が多く、この場合、受信側では10Gb/s信号列分を選択抽出し、電気信号に変換する必要がある。

【0046】このためには、10GHz光クロック列310を発生させ、この10GHz光クロック列310を光-電圧変換型半導体受光素子330に入射する。この光-電圧変換型半導体受光素子330は半導体吸収型光変調器340に接続されており、また、この半導体吸収型光変調器340には40Gb/s光データ列320が入力される。

【0047】ここで、10GHz光クロック列310を光-電圧変換型半導体受光素子330に入力することによって、高速電圧パルスが発生して半導体吸収型光変調器340に入力される。この半導体吸収型光変調器340においては、高速電圧パルスで変調器を駆動して、40Gb/s光データ列320と同期させる。この結果、半導体吸収型光変調器340は所望の10Gb/s信号列を抽出、出力する。

【0048】この場合、光クロック抽出を行うことのメリットは、アンプ等の電子回路を用いないことによる帯域制限が少ないということ、さらには光の短パルス性を活用してデューティの低いクロックパルスが生成できること等により、高感度化が可能になる点にある。

【0049】ここで、半導体吸収型光変調器の動作電圧は通常2V程度であり、半導体受光素子としては極力低信号入力パワーで直接に半導体吸収型光変調器を駆動することが理想的である。これまで、この装置形態に関しては、半導体受光素子として光-電流変換型のフォトダイオードを適用した例（例えば1998年電子情報通信学会総合大会講演論文集B-10-142参照）があるが、この場合変調器駆動用の電圧を発生させるために数十mW程度の高入力光を必要としていた背景がある。

【0050】しかし、本実施例では、本発明にかかる光-電圧変換型半導体受光素子をクロックパルス発生部に適用することに特徴があり、この光-電圧変換型半導体

受光素子は高々1mW程度の光パワーで3V程度のクロック電圧パルス発生が可能である。従って、同期用の半導体吸収型光変調器をより低い光パワーで外部電源を必要とせず直接動作させることができとなり、また、特に高入力光も必要しない。このため、よりシンプルな構成で光クロック抽出が実現できる。

【0051】同様に、上述の実施例に限らず他の光通信・計測装置に対しても、簡便でかつ効率的に高速電圧パルスが発生可能な、本発明による光-電圧変換型の半導体受光素子を適用することにより、装置の構成をよりシンプルにすることが可能になる。

【0052】図6は、本発明にかかる導波路型の光-電圧変換型半導体受光素子を基板上に集積して構成した場合の実施例を示している。図において、光集積基板470に集積された回路は、光クロック抽出の機能を有しており、動作原理は図5と同様である。すなわち、10GHz光クロック列410を光導波路460aを介して導波路型の光-電圧変換型半導体受光素子430で受光、クロック電圧に変換する。そして、直接に、集積化された半導体吸収型光変調器440で、光導波路460bを介して入力する40Gb/s光データ列420と同期させることにより、光クロック抽出が実現できる。

【0053】この場合、同一の光集積基板470上に、導波路型の光-電圧変換型半導体受光素子430と半導体吸収型光変調器440を形成することにより、機能が簡便にかつ低コストで実現できる。また、光-電圧変換型半導体受光素子を備えた集積回路を使用した実施形態は上述の形態に限られず、多機能を有する光集積素子においても、簡便でかつ効率的に高速電圧パルスが発生可能な本発明による光-電圧変換型の半導体受光素子を形成することにより、よりシンプルな構成でかつ低価格で実現が可能となる。

【0054】このように、本発明では、少なくとも20nm以下に近接したn型高濃度デルタドープ層とp型高濃度デルタドープ層とからなるドーピングダイポール構造を、光照射を受けるアンドープ層に周期的に形成することにより光吸収層のバンド構造を鋸歯状にする。従って、アンドープ層に光を照射すると光キャリアが鋸歯状のバンド構造によりドリフトして、上記ドーピングダイポール構造領域に集まって直接再結合および間接再結合されることにより大きな起電力を生じる。この結果、高速応答かつ高効率な特性を両立でき、信号電圧を素子内で発生させて外部電源の必要でない半導体受光素子を提供することができる。さらに、半導体受光素子を同一基板上に配した光集積素子、さらにはそれらを搭載した光通信・計測装置を提供することができる。

【0055】

【発明の効果】以上説明したように本発明は、高応答かつ高効率な特性を両立でき、信号電圧を素子内で発生させて外部電源の必要でない半導体受光素子を提供する

ことができる。また、請求項2にかかる発明によれば、簡易な構成で本発明かかる光-電圧変換型半導体受光素子を具現化することができる。さらに、請求項3にかかる発明によれば、簡易な構成で本発明かかる光-電圧変換型半導体受光素子を具現化することができる。さらに、請求項4にかかる発明によれば、簡易な構成の光信号処理装置を提供することができる。さらに、請求項5にかかる発明によれば、所望の機能を有した基板に本発明にかかる光-電圧変換型半導体受光素子を集積化できて便利である。さらに、請求項6にかかる発明によれば、簡易な構成の光信号処理装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第一の実施形態にかかる光-電圧変換型半導体受光素子の断面図である。

【図2】InGaAs光吸収層の拡大図およびそのパンド構造を示す図である。

【図3】信号光として波長1.55μmの光を照射した

ときに得られる出力信号電圧を示す図である。

【図4】本発明の第二の実施形態にかかる光-電圧変換型半導体受光素子の斜視を示す図である。

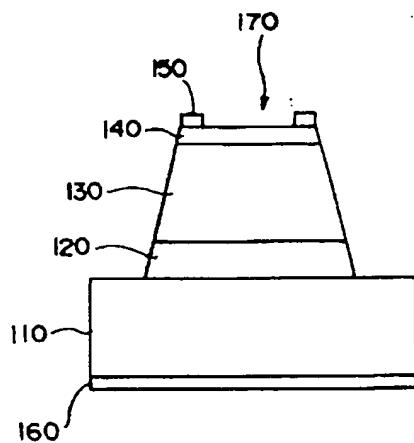
【図5】超高速光信号処理における光クロック抽出技術の構成の概略ブロック図である。

【図6】本発明にかかる導波路型の光-電圧変換型半導体受光素子を基板上に集積して構成して光クロック抽出を行う構成の概略ブロック図である。

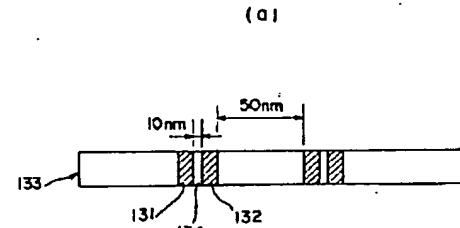
【符号の説明】

- 110 n+-InP基板
- 120 n+-InPバッファ層
- 130 InGaAs光吸収層
- 131 p型高濃度デルタドープ層
- 132 n型高濃度デルタドープ層
- 133 アンドープ層
- 134 アンドープスペーサ
- 140 n+-InPキャップ層
- 150, 160 n型AuGeNi電極

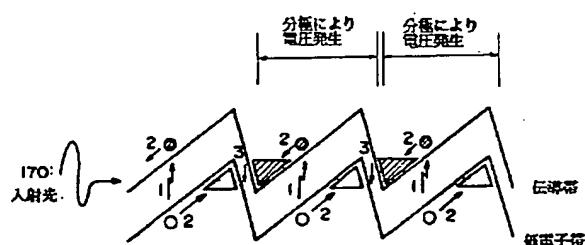
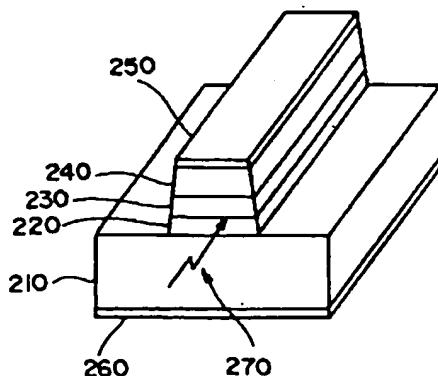
【図1】



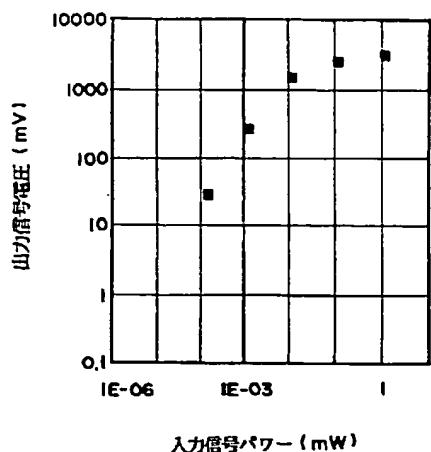
【図2】



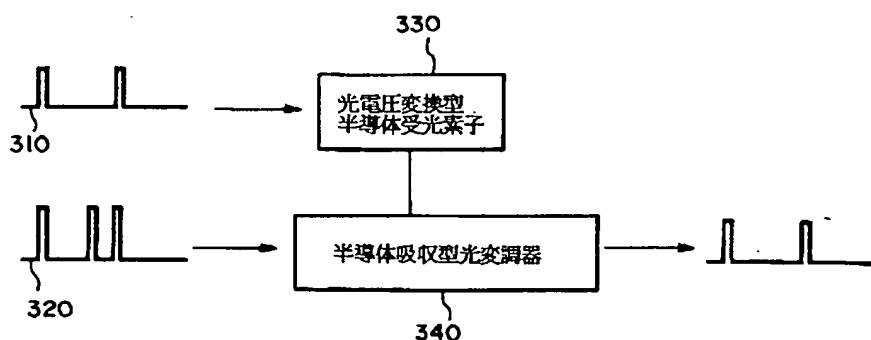
【図4】



【図3】



【図5】



【図6】

